

原 著 医療放射線防護のための口内法 X 線撮影検査の 品質管理と最適化

昭和大学歯学部口腔病態診断科学講座歯科放射線医学部門

境 野 利 江

抄録：国際放射線防護委員会（ICRP）は患者防護の最適化を行うために、診断参考レベル（diagnostic reference level：DRL）を利用することを勧告しており、患者線量の観測された分布におけるあるパーセンタイル点を DRL の初期値として選択することを提案した。本研究の目的は、自施設での口内法撮影における患者線量分布を調査し、ローカル DRL を決定し、歯科 X 線検査の最適化と品質管理を行うことである。患者入射線量を求めるため、成人患者に対する中切歯部の X 線写真の被写体が写っていない背景の光学密度を測定した。アルミニウム半価層 1.5 から 2.0 mm を持つ 4 台の歯科用口内法撮影装置とセンシトメトリ制御された 3 台の自動現像機を用いて、1999 年 5 月から 2000 年 4 月まで診断用 X 線検査を行ったフィルム（Carestream/Kodak UltraSpeed）から合計 5,045 枚の X 線写真を抽出した。フィルム特性曲線を用いて測定した光学密度を患者入射線量に変換した。上顎と下顎の中切歯部の口内法撮影 X 線検査に対する患者入射線量はガウス分布として観察された。上顎と下顎の中切歯部の平均患者入射線量（±標準偏差）はそれぞれ 1.27 ± 0.25 mGy と 1.16 ± 0.24 mGy であり、対応する光学密度は 2.59 ± 0.43 と 2.39 ± 0.42 であった。上顎と下顎の中切歯部に対する平均患者入射線量は、Japan DRLs 2015 の値（1.3 mGy と 1.1 mGy）にほぼ等しかった。これらの平均値と標準偏差から、X 線検査の品質管理に有用なローカル DRL、警告・改善レベル、中止レベルを導いた。しかしながら、適切に口内法 X 線撮影を最適化するには、患者線量を合理的に達成できる限り低くするため、利用し得る、より高感度な受像体を用いるべきである。

キーワード：医療放射線防護、口内法 X 線撮影、品質管理、最適化、診断参考レベル

現在、医療レベルの高い先進国では人工放射線被曝としての放射線診断による被曝が増加し、自然放射線被曝に匹敵する水準に達している¹⁾。地球規模でこのような状況が進むことを危惧して、適切な放射線診断技術の利用、すなわち医療放射線防護のための放射線検査の正当化と最適化がどの国でも強く要求されている。国際放射線防護委員会（International Commission Radiological Protection, ICRP）は正当化された放射線診断における患者防護の最適化を行うために診断参考レベル（diagnostic reference level, DRL）を利用することを勧告している²⁾。DRL は、もし常にある放射線診断の手法による患者線量が DRL の値を超えているならば、その施設での放射線検査の条件を再検討し、十分最適化されていなければ、被曝低減の措置を取るための基準となるべき値である^{3, 4)}。

口内法 X 線撮影検査の DRL 量には、いろいろな計測量が提案されており、それぞれ、検査の最適化や品質保証・品質管理（quality assurance/quality control, QA/QC）に利用されている^{3, 5)}。それらは撮影時の X 線の患者への入射面での背面散乱のない照射線量（free-in-air exposure, X ）や自由空中空気カーマ（entrance surface air kerma, $ESAK$ ）、または患者の背面散乱を含む入射表面線量（entrance surface dose, ESD ）や表面吸収線量（surface dose, D_0 ）、そしてコーン先端における中心 X 線の自由空中の空気カーマである患者入射線量（patient entrance dose, PED ）等⁶⁻⁸⁾であり、これらはすべて患者線量管理と口内法撮影の QC に有用である。これらの量の測定には、電離箱式線量計、熱蛍光線量計（TLD）、X 線フィルムなどが用いられた。英国放射線防護庁（National Radiological Protection Board, NRPB）

では X 線フィルムの郵送を用いて英国全土で広範な口内法撮影とパノラマ撮影の患者線量調査を行ってきた^{8,9)}。ICRP は写真フィルムの光学密度 (optical density, *OD*) それ自体も DRL として利用できると述べている³⁾。通常フィルム線量測定法では一定の条件で得られるフィルム特性曲線を用い *OD* から線量への変換を行って DRL 線量の調査研究が行われる。X 線診断に用いられる写真フィルムには、患者の被写体がない部分が含まれていることがあり、その部分には、患者の診断情報とは独立に装置の撮影条件やフィルムの現像条件に関する情報が含まれている。そのフィルムの *OD* には、フィルム照射の幾何学的条件などさまざまな要因が加わっているが、それらの要因を個別に解析できれば、患者線量管理や現像処理等の管理にも利用できるだけでなく、ICRP の言う *OD* 自体を DRL として口内法 X 線撮影検査の QC に役立てることができる。

本研究の目的は自施設の口内法 X 線撮影における DRL のローカルな初期値 (以下ローカル DRL と呼ぶ) を設定し⁵⁾、最近公表された日本における口内法撮影の DRL (Japan DRLs 2015)⁶⁾と比較し、患者防護の最適化を推進することである。そのため、臨床的な診断目的に有効と判断された口内法 X 線撮影の写真フィルムを用いて、被写体が写っていない部分の *OD* を測定し、その *OD* の実態調査から口内法 X 線撮影検査に関する上記のさまざまな線量の評価を行った。また、X 線フィルムを用いる口内法 X 線撮影検査では、撮影装置、撮影技術、受像系感度、現像処理など多くの因子がフィルムの *OD* に影響するが、検査の QC プログラムを確立するためそれらの要因を個別に調査し、フィルム法による線量測定の影響因子について検討した。なお、本研究は臨床試験審査委員会の承認 (承認番号 DH2015-020 号) を得て行った。

研究方法

線量の実態調査は 1999 年 5 月から 2000 年 4 月までの 1 年間に本施設 (昭和大学歯科病院放射線科) で撮影された 18 歳以上の成人患者 (平均年齢は男女ともに 51 歳) の上顎と下顎の中切歯部の X 線写真フィルムそれぞれ 3,051 枚と 1,994 枚の合計 5,045 枚を用いて行った。本研究に使用した材料と機器の一覧をまとめて Table 1 に示す。撮影に使用した歯

Table 1 Materials summarized

<ul style="list-style-type: none"> • Dental X-ray units: <ul style="list-style-type: none"> – ORALIX 65 (PHILIPS Co.) 1.7 mmAl HVL – GX 60M (Asahi Roentgen Co.) 1.5 mmAl HVL – MAX F1 (Morita Co.) 2.5 mmAl HVL – HD-1 (Tokyo Emix) 1.7 mmAl HVL • X-ray films: <ul style="list-style-type: none"> – Kodak Ultra speed (sensitivity: D group) – 1999/May – 2000/Apr (5045 films) – Maxillary and mandibular incisor films • Processors: <ul style="list-style-type: none"> – Durr Dental AC254L (Durr-Dental GmbH & Co.) – Durr XR24 (Durr-Dental GmbH & Co.) – Level 365 (Flat Co.) • Densitometer: <ul style="list-style-type: none"> – MODEL 301 (Fuji Medical) • Phantom: <ul style="list-style-type: none"> – DXTTR III (Rinn Co.) • Dosimeter: <ul style="list-style-type: none"> – 9015 10X-6 (Radcal Co.)

科口内法 X 線撮影装置は ORALIX 65S (PHILIPS Co.), GX 60M (Asahi Roentgen Co.), MAX F1 (Morita Co.), HD-1 (Tokyo Emix) の 4 台で、それらは管電圧 60–65 kV のアルミニウム半価層 (*HVL*) 1.5 mm から 2.5 mm の線質を有しており、どの装置も偏りなく調査期間に使用された。当施設では臨床にアナログフィルムシステムでは Carestream 社 (旧 Kodak) の Ultra speed と Ekta speed plus または InSight を用いてきたが、今回の調査期間に成人患者に対して主として使用していた Ultra speed フィルムで撮影されたものを研究材料として用いた。現像は 3 台の自動現像機 AC254L と XR24 (Durr-Dental GmbH & Co.) および Level 365 (Flat Co.) を用いて偏りなく行われた。しかし、1999 年 5 月だけは Level 365 が故障のため使用されなかった。

上顎中切歯部と下顎中切歯部ファントムを用いて、*OD* の測定に用いる X 線写真の測定箇所を示した 1 例を Fig. 1a, b に示す。これらの X 線写真はそれぞれ Fig. 2a, b に示すように上顎中切歯部と下顎中切歯部に対して本施設で採用している典型的な二等分法 (bisecting-angle technique) で撮影したものである。すなわち中心 X 線 (central X-ray, CR) は咬合平面 (occlusal plane) に対して、歯軸

(longitudinal axis of tooth) とフィルム面 (plane of dental film) とのなす角度の二等分面 (bisecting plane) に直交して、典型的には上顎中切歯では歯軸に於て $+40^\circ$ 、咬合平面に垂直な下顎中切歯ではおよそ -15° から -25° の入射角度で投影する¹⁰⁾。このように撮影された X 線写真を用いてフィルム法により、撮影時の患者への入射表面線量を推定した。そのため濃度計 MODEL 301 (Fuji film) を用いて歯冠部とフィルムの端までの被写体が写っていない部分の OD をそれぞれ 3 点ずつ各 3 回、1 枚のフィルムにつき計 9 回測定した。フィルム法により線量測定を行う際に結果に影響を与える因子として、撮影条件、現像条件、フィルムの測定条件等がある。これらの要因が測定結果に与える影響をそれぞれ以下の方法で検討した。

1. 自動現像機

濃度計校正用フィルムの OD = 2.50 を MODEL 301 によって 20 回測定し、その指示値の平均値と標準

偏差 (SD) を求めた。この MODEL 301 を用いて、調査期間中に使用された 3 台の自動現像機の管理状況について知るため、光学密度階段で露光し毎日現像したコントロールフィルムのある階段 (調査測定した被写体が写っていない部分のフィルムの OD = 2.50 に近い値を与える特定の階段) の OD を測定し、月ごとに平均と標準偏差を求め、1 年を通じての OD の変動を 12 か月の平均に対する標準偏差によって調べた。

2. フィルム入射角度

二等分法ではフィルムに入射する X 線ビームはフィルム面に垂直ではなく、口腔内の状態により Fig. 2a, b に示したように入射角度が傾いて用いられる。そこで OD の, Ultra speed フィルムに対する X 線ビーム入射角度による変化について、アルミニウム HVL 2.0 mm の X 線ビームを用い、それぞれ 35, 70, 140, 210 mR をいろいろな入射角度でフィルムに照射して調べた。入射角度はフィルムの垂線との間の角度で表した。

3. 口腔内フィルム

口腔内にフィルムが置かれていることの影響を調べるため、アルミニウム HVL 2.0 mm の X 線ビームと口内法撮影用ファントム DX-TTR III (Rinn Co.) を用いて、上下顎の中切歯部撮影で口腔中で照射された Ultra speed フィルムの OD と自由空中の同じ位置で照射されたフィルムの OD を比較した。

4. フィルム特性曲線

一定の条件で現像した Ultra speed フィルムの OD と自由空中での照射線量 (X) の関係を得るためにフィルム特性曲線を求めた。アルミニウム HVL で 1.5, 2.0, 2.5 mm の X 線ビームを用い、X は電離箱式線量計 9015 10X-6 (Radcal Co.) で測定した。得



Fig. 1

a : An intraoral radiograph of maxillary incisors
b : An intraoral radiograph of mandibular incisors

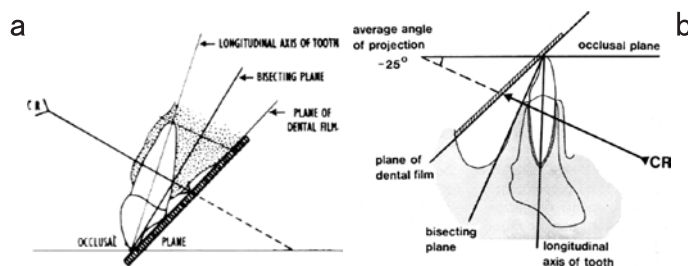


Fig. 2

a : Bisecting-angle technique of maxillary incisor projection
b : Bisecting-angle technique of mandibular incisor projection

られた特性曲線上の OD 1.5 から 3.5 の範囲を直線回帰して次式を決定した.

$$X \doteq (OD - b) / a \quad (1)$$

ここで a と b は特性曲線上の OD の 1.5 から 3.5 の範囲の回帰直線の近似係数である.

5. 表面吸収線量

フィルムに X 線が入射する位置での, 自由空中の照射線量 (X) に対する患者の表面吸収線量 (D_0) を次式で算定した.

$$D_0 = X \cdot F \cdot B \quad (2)$$

ここで X 線ビームのアルミニウム HVL が 2.0 mm のときの f-factor を $F = 0.87$ とし¹¹⁾, 背面散乱係数 B を 1.22 とした¹²⁾.

6. ローカル DRL

通常 DRL は一般的な X 線検査に対する多施設の平均線量の分布から, 分布の 75 パーセンタイル値などで決定される²⁻⁶⁾. こうして決定された DRL 値と各施設の平均線量を比較することによって, 各施設では X 線検査の諸条件を見直し, 検査や装置の QC に役立てることができる⁶⁾. また, 各施設はその施設の DRL (ローカル DRL) を設定し, その施設の検査や装置の QC に利用することが推奨されている⁵⁾. OD 分布から得た自施設の線量分布の平均値と標準偏差, 中央値と 75 パーセンタイル値との関係を示し, 口内法 X 線撮影検査の QC に有用なローカル DRL および警告・改善レベル (remedial level) と中止レベル (suspension level) など QC パラメータを設定した.

結 果

1 枚の $OD = 2.50$ のフィルムを濃度計によって多数回測定したときの指示値の標準偏差 (SD) は 0.005 と極めて小さく変動係数は 0.2% であった. 3 台の自動現像機 AC254L, XR24, Level365 についてのコントロールフィルムの OD の各月の平均値を Fig. 3 に示す. 各月の標準偏差はプロットした記号のサイズより小さいので示していない. 12 月から 3 月までの冬期が他の期間より 3 台の機種間の相違がやや大きい, 3 台の機種に特別な季節変動は認められなかった. コントロールフィルムの OD の数値の内訳を Table 2 に示す. 各月の OD の標準偏差は 0.02 ~

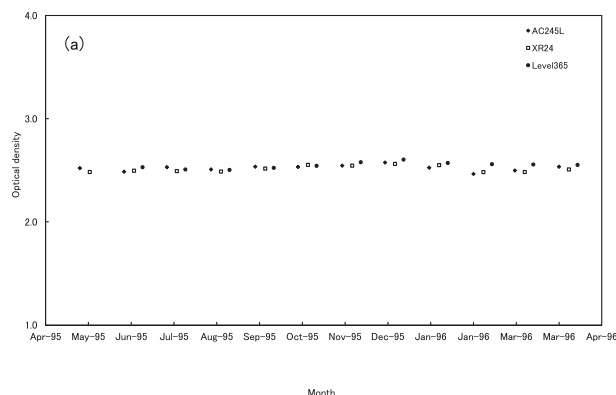


Fig. 3 Monthly average optical densities for sensitometric control films

0.08 までばらつきがあるが, 平均してみるとどの機種でも 0.04 の標準偏差 (変動係数は 1.6%) であった. 自動現像機の 12 か月の OD の平均値と標準偏差は Table 2 の最下段に示すように, それぞれ AC254L が 2.52 ± 0.03 , XR24 が 2.51 ± 0.03 , Level365 が 2.55 ± 0.03 で, 現像による 12 か月の各機種の平均 OD に対する変動係数は 1.2% と非常に小さいものであった. 全体として 1 年を通じて 3 台すべての自動現像機によるコントロールフィルムの OD 分布は平均値 2.53 で標準偏差 0.05 (変動係数 2.0%) の正規分布を示した.

被写体のない部分の各フィルムの 3 点の測定には, 平均して標準偏差で 0.07 の変動があり, これはコントロールフィルム全体の標準偏差 0.05 より若干大きかった. 月ごとの平均 OD と標準偏差を求めた結果を Fig. 4 に示す. また, その各月の数値として, 上顎および下顎中切歯部フィルム試料の OD の平均値と標準偏差の内訳を, コントロールフィルムの同じ期間について解析された結果の数値と併せて, Table 2 に示す. 中切歯部フィルムの各月の標準偏差には, 主に撮影条件の変動が含まれ 0.37 から 0.48 までばらつきがあったが, 平均すると上顎では 0.42, 下顎では 0.40 であった (変動係数ではそれぞれ 16.2% と 16.7%). Fig. 4 には, 6 月から 9 月までの夏期に, 12 月から 3 月までの冬期よりも OD が低くなる傾向が認められた. このような季節変動が認められるものの Table 2 に示すように 12 か月の中切歯部撮影の平均フィルム $OD \pm$ 標準偏差は上顎中切歯部で 2.59 ± 0.10 (変動係数 3.9%), 下顎中切歯部で 2.39 ± 0.10

Table 2 Monthly average of optical densities for sensitometric control films, maxilla and mandibular incisor films

	AC245L		XR24		Level365		Maxilla		Mandibular	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
1999.May	2.52	0.03	2.48	0.05	—	—	2.65	0.38	2.37	0.37
1999.Jun	2.49	0.06	2.50	0.05	2.53	0.04	2.52	0.42	2.34	0.39
1999.Jul	2.53	0.05	2.49	0.04	2.51	0.04	2.43	0.40	2.17	0.40
1999.Aug	2.51	0.08	2.49	0.03	2.50	0.04	2.50	0.43	2.32	0.38
1999.Sep	2.54	0.05	2.52	0.04	2.52	0.04	2.51	0.40	2.36	0.43
1999.Oct	2.53	0.03	2.55	0.03	2.54	0.03	2.60	0.48	2.37	0.41
1999.Nov	2.55	0.04	2.54	0.03	2.58	0.03	2.62	0.39	2.43	0.38
1999.Dec	2.57	0.04	2.56	0.04	2.60	0.04	2.64	0.40	2.47	0.39
2000.Jan	2.53	0.02	2.55	0.02	2.57	0.02	2.61	0.36	2.47	0.37
2000.Feb	2.46	0.05	2.48	0.03	2.56	0.03	2.78	0.45	2.56	0.42
2000.Mar	2.50	0.03	2.48	0.03	2.56	0.03	2.71	0.43	2.50	0.39
2000.Apr	2.54	0.03	2.51	0.05	2.55	0.03	2.56	0.49	2.36	0.42
average	2.52	0.04	2.51	0.04	2.55	0.03	2.59	0.42	2.39	0.40
SD	0.03		0.03		0.03		0.10		0.10	

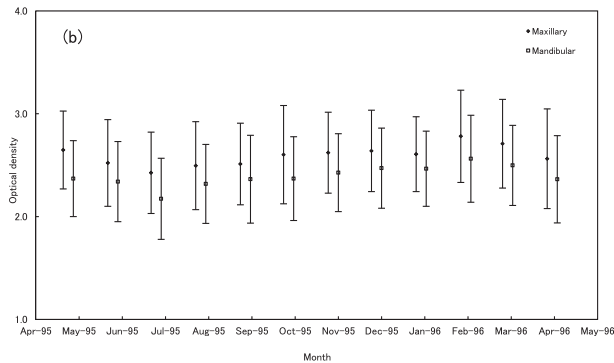


Fig. 4 Monthly average optical densities for sensitometric radiographs of incisors

(変動係数 4.2%) であった。1 年を通じて撮影されたすべての上顎中切歯部フィルム 3,051 枚と下顎中切歯部フィルム 1,994 枚の OD の累積分布を Fig. 5 に示す。これらの分布は上顎中切歯部フィルム全体では OD の平均値 2.59, 標準偏差 ± 0.43 , また下顎中切歯部フィルムでは平均値 2.39, 標準偏差 ± 0.42 の正規分布を示した。Fig. 5 には正規分布の積分曲線を併せて示す。その変動係数は 16.6% と 16.7%, 下顎では上顎より平均で OD が 0.20 小さくなっていた。

二等分法による X 線の入射角度によるフィルムの

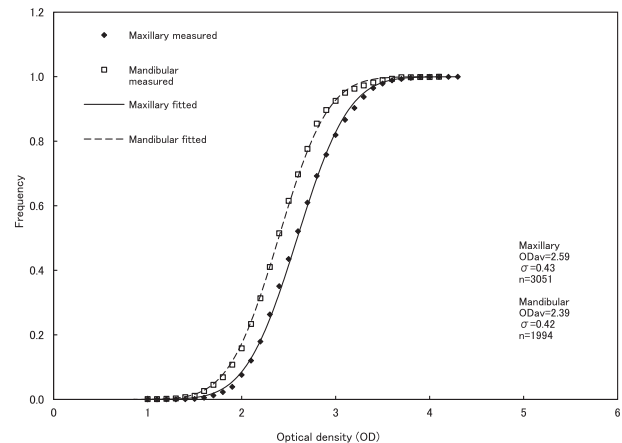


Fig. 5 Cumulative distributions as functions of optical densities of the radiographs

OD への影響を調べた結果を Fig. 6 に示す。Fig. 6 中にはそれぞれ 35 mR (●), 70 mR (▲), 140 mR (■), 210 mR (◆) 照射時の入射角度による OD の変化を示す。140 mR 照射の OD が 2.5 程度では入射角度 40° までは OD の変化は数%以内であった。

本調査で利用した口内法 X 線撮影装置と後方散乱シールド箔とともにパッケージされた Ultra speed フィルムでは、ファントムの口腔内にフィルムが置かれていることの OD へ影響は自由空中と比較して有為な相違が検出できなかった (Fig. 7)。

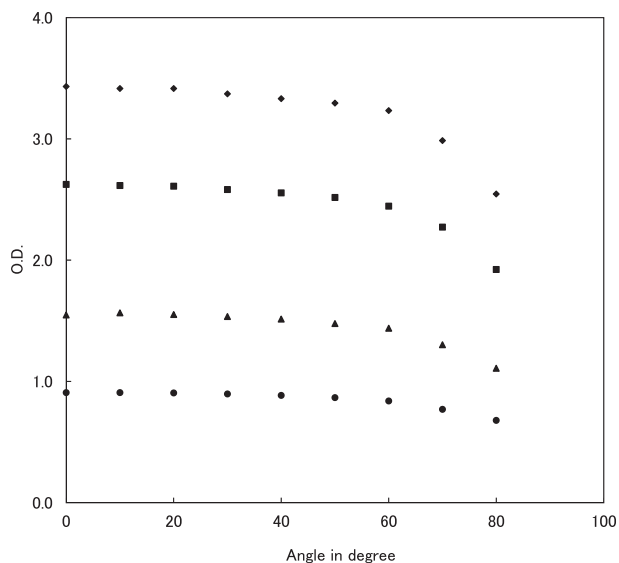


Fig. 6 Densities of Kodak Ultra speed films dependent on exposure angles
Films were exposed at 35 mR of ●, 70 mR of ▲, 140 mR of ■, and 210 mR of ◆ at various angles of the incident X-ray beams.

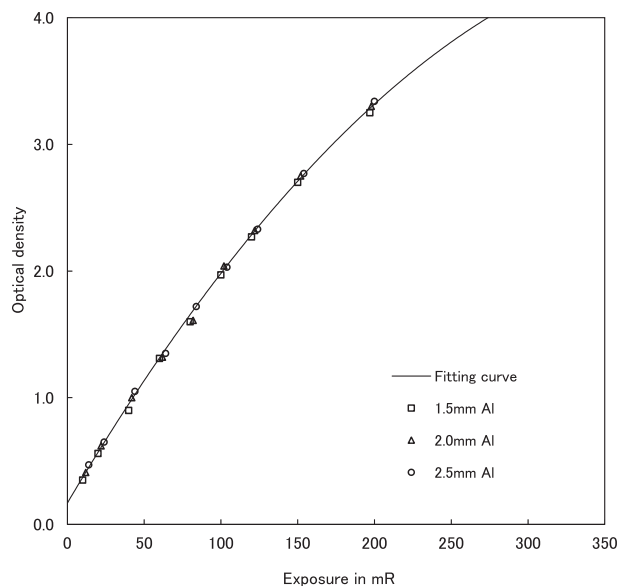


Fig. 8 Optical densities of Ultra speed films as a function of exposure

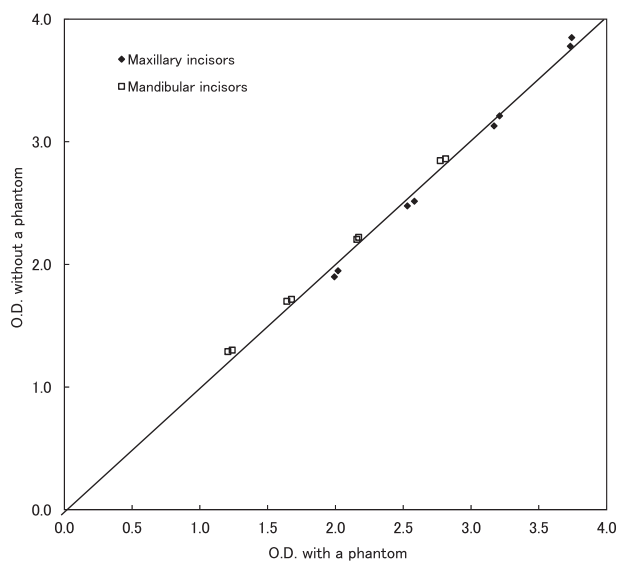


Fig. 7 Densities of the films with and without a phantom

Ultra speed フィルムの特性曲線を Fig. 8 に示す。フィルム特性曲線の回帰直線 (2) 式の係数は $a = 0.0144 \text{ mR}^{-1}$ と $b = 0.5894$ であった。調査した全フィルムの OD の平均からフィルムに対する自由空中の X と空気カーマ (ESAK) を求めると、それぞれ上顎では 145 mR と 1.27 mGy、下顎では 133 mR と 1.16 mGy

となった。

線量と OD との関係を (2) 式とし、撮影条件による変動係数を 16% と 17% とすると、これらの平均の表面吸収線量 D_0 (または ESD) と標準偏差 ($\pm \text{SD}$) はそれぞれ上顎中切歯部撮影では $1.54 \pm 0.25 \text{ mGy}$ と下顎中切歯部撮影では $1.41 \pm 0.24 \text{ mGy}$ と算定された。

考 察

臨床で撮影されるフィルムは、X 線装置とフィルムの種類、現像条件、撮影部位、撮影法、患者体格、検査の目的など多くの要因によって撮影条件が変化する。これらの多様な条件下での患者の被曝線量を知ることは、防護の最適化を実施していく上で重要であるが、臨床現場での患者線量を直接測定するにはいろいろな制約があって容易ではない。歯科 X 線検査についてはこれまで、TLD やフィルムの郵送法などによって施設ごとの標準的な撮影条件に対する実態調査が試みられてきた^{8,9)}。しかし、実際の歯科臨床現場では、これらの標準から離れた撮影条件でも撮影されており、それらの変動や範囲を知ることは、これらの調査方法によっては困難である。本研究は、診断目的を満した臨床条件で撮影されたフィルムを用いた実態調査であることに意義があり、撮影部位として上下顎中切歯部に限定されてい

Table 3 Contribution to the standard deviation due to various factors

Factor	Contribution		SD value	CV [%]
Critical film	$s^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2$	(a)	0.42-0.43	16.6-16.7
Processing film	s_2^2	(b)	0.05	2.0
Measuring OD on the film	s_3^2	(c)	0.07	2.8

SD : Standard deviation

CV : Coefficient of variation

s : Standard deviation of the critical films

s_1 : Standard deviation due to an X-ray exposure factor

s_2 : Standard deviation due to a film processing factor

s_3 : Standard deviation due to an OD measuring factor

るとはいえ、これらの結果はローカル DRL 導入のための基礎データとして有用と考える。

臨床で得られたフィルムの被写体が写っていない部分の OD を計測するにあたって、その変動に影響する多くの因子の中で、主要な因子と思われる、撮影条件、現像条件、フィルムの測定条件について考察する。これらの要因による OD の変動が互いに独立であり、その変動はそれぞれ正規分布しているものと仮定する。調査期間中一定の条件で露光された全コントロールフィルムを 3 台の自動現像器で処理したときの OD は、平均値 2.53 で標準偏差 0.05 (変動係数 2.0%) の正規分布を示した。この OD には濃度計によるランダムな測定変動が含まれているが、その標準偏差は 0.005 と極めて小さく、現像処理による OD の変動の大きさ 0.05 と比較して無視し得る ($\sqrt{(0.05^2 - 0.005^2)} = 0.0497 \approx 0.05$)。一方、試料とした中切歯部のフィルム (平均 2.49) の 3 点の測定には、各フィルムの平均 OD に対して平均の標準偏差は 0.07 (変動係数 2.8%) であり、ここには、同一のフィルム現像処理下においても濃度計の無視し得る測定変動以外に未知の変動因子が含まれている。測定した臨床フィルムには、現像による変動以外に、コントロールフィルムと異なるこのような未知の測定変動因子が、全変動に対して含まれている。そこで、撮影条件によって空中でフィルムに入射する中心 X 線の線量が変動することによる OD の変動の標準偏差を s_1 とし、現像処理による変動の標準偏差を s_2 、その他の OD 測定による未知の変動の標準偏差をまとめて s_3 として、これらすべての変動

が正規分布すると仮定して、次式による全変動の標準偏差 s から s_1 を推定してみた (Table 3)。

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 \quad (3)$$

すなわち、 $s_1 = \sqrt{(s^2 - s_2^2 - s_3^2)}$ であり、 s_1 は上顎では 0.42、下顎では 0.41、変動係数では 16.3% と 17.2% となった。この結果から、これらの因子 s_2 と s_3 によって全変動の 0.42 と 0.43 に若干の寄与があるものの、フィルムの OD の変動 s は、ほとんど、撮影条件による線量の変動 s_1 に起因していることが明らかになった。1 枚の臨床フィルム内の 3 点の測定による変動 s_3 には、コントロールフィルムと異なるフィルムに対する X 線入射角度の変動、フィルム周囲組織による散乱線、フィルムに包装されている後方散乱シールド効果、利用 X 線ビームのヒール効果等による照射野内での不均一、フィルムの片縁に近い部分での現像の不均一、測定箇所口唇の一部が含まれる場合の誤差、などいろいろな原因が考えられるが、それらすべてを併せた変動 s_3 は、全体として中切歯部フィルムの測定箇所の OD 変動には、現像処理による OD の変動 s_2 と同程度の大きさしか寄与していなかった。

全体としての OD 分布が正規分布であったため、本研究での中央値と平均は等しく、平均 + 標準偏差 ($OD_{av} + s$) までの確率はおおよそ 84 パーセントになる。75 パーセント値は線量のみによる変動 $OD_{av} + s_1$ の値を僅かに下回る程度であった。そこで、自施設での口内法 X 線撮影検査の QC プログラムとして、ローカル DRL を 75 パーセント値に近い安

全側で $OD_{av} + s_1$ の値に設定した。また、警告・改善レベルを $OD_{av} \pm s$ 、中止レベルを $OD_{av} \pm 2s$ に設定した。これによって、日常的に特定の口内法 X 線撮影装置を用いた一定露光のコントロールフィルムの OD がローカル DRL を超えないことを記録するとともに、毎月 10 枚の成人患者の上下顎いずれかの前歯部フィルムをランダムサンプリングし、被写体が写っていない部分の平均 OD が警告・改善レベルの外側になったときには、撮影装置または自動現像機を点検し、速やかにその変動の原因を特定し、原因を取り除くべきである。もし、平均 OD が中止レベルの外側になったときには、装置や機器の使用を中止し、修理を依頼すべきである。ローカル DRL の値は、撮影装置や現像機器と受像システムが交換されたときには、 OD_{av} を再調査して設定し直さなくてはならない。

Lecomber と Faulkner¹³⁾ は TLD で ICRP の Reference Man に基づく Rando Phantom を用いて口内法撮影による組織臓器平均吸収線量を測定した。TLD は NRPB により勧告されたプロトコルに従って校正され、測定全体の不確かさは 95% 信頼レベル ($\pm 2SD$) で $\pm 25\%$ と評価された。彼等は NRPB により勧告された撮影パラメータに近い条件を選び、Ekta speed plus (E 感度フィルム) を利用し、管電圧 70 kV、アルミニウム HVL 2.7 mm の X 線を使って二等分法で上顎中切歯部を撮影したとき、入射表面線量 (ESD) は 0.8 mGy、下顎中切歯部の撮影では 0.6 mGy という結果を得た。Ekta speed plus と Ultra speed フィルムの感度が約 2 倍異なることはよく知られており、彼等の入射表面線量の 2 倍 (上顎中切歯部 $0.8 \times 2 = 1.6$ mGy、下顎中切歯部 $0.6 \times 2 = 1.2$ mGy) が本研究で得た平均値と標準偏差の範囲内で一致した (上顎中切歯部 1.54 ± 0.25 mGy、下顎中切歯部 1.41 ± 0.24 mGy)。本研究では成人患者の体格による臨床的な撮影条件の変動を含んでいるが、使用フィルムの感度を考慮すると平均値は彼等の値と一致しているものと思われる。彼等の線量は ICRP Reference Man あるいは標準成人患者に対する典型的な値を示すものであろう。

口内法撮影で英国の NRPB は Napier により報告された患者入射線量 (PED) 分布の第 3 四分位数として成人下顎大臼歯部に対して 4 mGy の“参考線量 (reference dose)”を勧告した⁸⁾。1995 年から

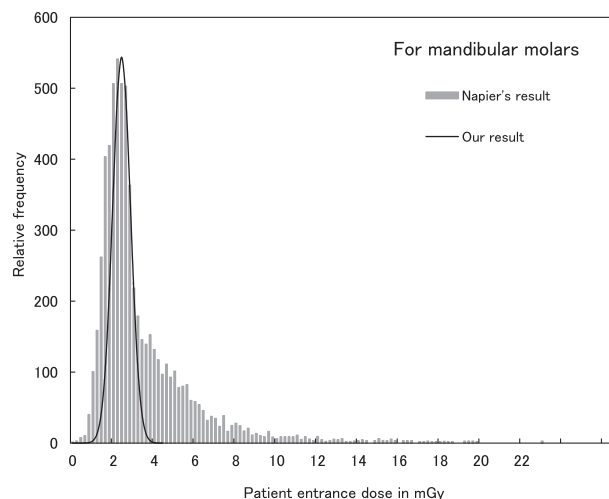


Fig. 9 Comparison of dose distributions for patients

1998 年の間に Napier によって英国の一般歯科診療所について広範に調査された下顎大臼歯部撮影時の PED の分布と本研究の結果との比較を Fig. 9 に示す。比較は本施設における成人患者に対する口内法撮影の標準撮影条件から、下顎大臼歯部の撮影時間が下顎中切歯部の 2 倍であると仮定して、本研究で得た線量の値を 2 倍して行った。Napier の結果では英国では D 感度のフィルムとそれに対して約 2 倍の感度をもつ E 感度のフィルムが 1/4 併用されていた。本研究の結果は D 感度フィルムのもので線量は正規分布であった。Napier はフィルム感度と共にビームの線質が結果に大きな影響を与えることに注意を喚起している。英国の調査結果は、かなり低管電圧で濾過の少ない軟らかい線質の古い装置が含まれていた。Napier の調査は 45 ~ 55 kV と 60 ~ 70 kV の範囲の口内法 X 線撮影装置の 2 つのカテゴリーを含んでいるが、本研究の結果はアルミニウム HVL 1.5 mm から 2.5 mm を持つ 60 ~ 70 kV の範囲に限られている。それに対して、英国の調査ではフィルム感度が 2 倍異なり、使用線質にも大きな幅がある母集団が線量分布に大きな広がりをもたらしたと考えられる。

この比較から両分布では英国の一般歯科診療所での結果に口内法撮影の“参考線量”として提案された 4 mGy 以上の線量群が 25% 近く含まれているのが大きな相違である。すなわち高い線量値を有する施設が分布に含まれているために、線量分布は高線

量側に肩をもった非対称に裾を引く形となっていた。本研究の結果では 4 mGy 以下の狭い正規分布の中で 2.82 ± 0.72 mGy [± 3 SD (99.7%)] の照射が含まれていた (Fig. 9)。特定の施設では、使用線質や、フィルムの種類が限定されているため、撮影者や口内法 X 線撮影装置が異なっても線量分布は狭くなったと考えられる。撮影部位による撮影条件の変化を考慮しても、このことは、線質と現像処理の QC を厳格に行うならば、本研究で得た狭い線量範囲の中で、十分診断目的に叶った撮影結果が得られる可能性を強く示唆している。特定の撮影部位に対する比較的限定された診断目的の画像医学検査において、使用される線量分布の範囲を狭めることは、検査の最適化を推進する過程の一部として重要である。

しかしながら、ここで仮定した下顎大臼歯部についての撮影条件が合理的なものであるか、今後さらに研究が必要と思われる。すなわち、本研究では上下顎の中切歯部の線量について調査したが、その結果は大臼歯部の線量と平均しておよそ 2 倍の相違があった。ゆえに口内法撮影においては撮影部位ごとに異なる DRL を設定すべきと思われる。Japan DRLs 2015 では⁶⁾、口内法撮影で上顎と下顎の歯の部位別に 10 歳小児と成人に対する DRL が勧告された。成人患者に対するその *PED* の値を Table 4 に示す。その値は、上顎中切歯部は 1.3 mGy、下顎中切歯部 1.1 mGy で、私達の得た平均の *ESAK* を *PED* に等しいとすると、上顎中切歯部 1.27 mGy、下顎中切歯部 1.16 mGy であった。Japan DRLs 2015 の線量調査が、主にデジタルシステムとアナログフィルムシステムでも E/F 感度フィルムの利用に移行している現在の全国歯科大学付属病院を対象として行われたことに鑑みると、本施設では、アナログ D 感度フィルムシステムのかなり優れた品質管理が実施されていたものと評価される¹⁴⁾。しかし、E/F 感度フィルムの利用やデジタルシステムに移行すれば、現在の線量をさらに低減できることが期待される。

また、X 線検査の QC としては、撮影装置ごとに、すなわち、撮影室に分けて定期的に調査し管理するのが望ましく、そのように実施することが勧告されている⁵⁾。今回の調査では、そのような解析には至らなかった。これらの点について今後も継続的な調査研究が必要と思われる。その後の英国の NRPB の

Table 4 Japan DRLs 2015 for dental intraoral radiography

Examination site		<i>PED</i> [mGy] ^{a)}	
		Adult ^{b)}	Child ^{c)}
Maxilla	Incisor	1.3	0.9
	Canine	1.6	1.0
	Premolar	1.7	1.1
	Molar	2.3	1.3
Mandible	Incisor	1.1	0.7
	Canine	1.1	0.9
	Premolar	1.2	0.9
	Molar	1.8	1.1

a) Patient entrance dose (*PED*) is the air kerma in cone-tip free air not including the patient's backscattering.

b) Adult patient with standard size

c) Ten-year-old paediatric patient

調査では、先の調査によって無用な被曝をもたらす低管電圧で濾過の少ない軟らかい線質の古い装置の使用を止め、受像系はより高感度な E/F 感度フィルムを使用するよう勧告された結果を反映し、*PED* 分布が低線量に改善されたため、成人患者に対する口内法撮影における下顎大臼歯部の“参考線量”は 2.1 mGy に引き下げることが提案された⁹⁾。Japan DRLs 2015 でも⁶⁾、成人の下顎大臼歯部に対しては 1.8 mGy であり、下顎前歯部との線量比は $1.8 : 1.1 = 1.63 : 1$ である。この DRL は、感度グループ E 以上のフィルムまたはデジタルシステムの使用が主に想定されている。そのような高感度受像システムを利用すれば、感度を D グループフィルムの 2 倍に引き上げることができるため、下顎中切歯部 1.16 mGy の $1.63/2$ 倍で下顎大臼歯部の撮影が行えたと仮定すると $1.16 \times (1.63/2) = 0.95$ mGy であり、Japan DRLs 2015 に対応することは比較的容易に行えると予想された。また、上顎と下顎中切歯部の DRL として 1.3 mGy と 1.1 mGy に対しても、感度が 2 倍の高感度受像システムを利用すれば、上顎中切歯部 $1.27/2 = 0.64$ mGy、下顎中切歯部 $1.16/2 = 0.58$ mGy と十分 Japan DRLs 2015 に対応可能と思われた。DRL の調査は、「少なくとも 3 年ごとに、または装置や技術に大きな変更があるたびに実施すべきである」

と ICRP は勧告している⁴⁾。本施設では 2006 年に口内法 X 線撮影装置と自動現像機が一新され、2012 年にはデジタルシステムへ移行した。本研究は口内法 X 線検査の機器一式がシステムとして更新を受ける以前のアナログシステムの OD 調査として行われ、継続的に最適化を促進するための口内法 X 線撮影系の QC の基準線として、ローカル DRL、警告・改善レベルと中止レベルの初期値を与えた。

結 論

本研究で得られた平均 OD とその分布および標準偏差を用いて、口内法 X 線撮影検査の QC プログラムを確立し、成人の前歯部撮影のローカル DRL、警告・改善レベルと中止レベルの初期値を設定した。本研究の結果では下顎大臼歯部に対する英国の 4 mGy の DRL は⁸⁾感度グループ D 以上の高感度のフィルムを使用し、適正な X 線ビームの線質と現像処理条件の両者を適切に管理することによって十分に達成可能と考えられた。しかし、新しく勧告された Japan DRLs 2015 に⁶⁾適合させるには、「合理的に達成できる限り低く (as low as reasonably achievable, ARALA)」と言う放射線防護の基本原則に従い E/F 感度グループフィルムの使用またはデジタルシステムへの移行は不可避と思われた。また、口内法撮影における患者防護の最適化を推進するため X 線装置は 45 ~ 55 kV の低い管電圧と低濾過の軟らかい線質ビームを用いるべきではなく、より高感度受像システムの導入にともない、口内法 X 線撮影装置は 0.1 s 以下のより短時間で X 線出力と線質の正確な制御が必要となるため、高周波インバータ直流の利用も不可欠と思われた。

利益相反

本研究に関し開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Medical radiation exposure. In *Sources and effects of ionizing radiation* (Internet). 2010. p24. (UNSCEAR 2008 report to the general assembly with scientific annexes; 1). (accessed 2015 Jul 7) <http://www.>

- unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex_A.pdf
- 2) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*. 2007;37:1-332.
- 3) Diagnostic reference levels in medical imaging: review and additional advice. *Ann ICRP*. 2001; 31:33-52.
- 4) ICRP Publication 105. Radiation protection in medicine. *Ann ICRP*. 2007;37:1-63.
- 5) Institute of Physics and Engineering in Medicine. Guidance on the establishment and use of diagnostic reference levels for medical X-ray examinations. York: Institute of Physics and Engineering in Medicine; 2004. (IPEM Report; 88).
- 6) 医療被ばく研究情報ネットワーク. Diagnostic Reference Levels Based on Latest Surveys in Japan—Japan DRLs 2015—. 2015 年 6 月 7 日. (2015 年 7 月 7 日アクセス) <http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRLhoukokusyoEng.pdf>
- 7) Patient Dosimetry for X Rays used in Medical Imaging. *J ICRU*. 2005;5:i.
- 8) Napier I D. Reference doses for dental radiography. *Br Dent J*. 1999;186:392-396.
- 9) Gulson AD, Knapp TA, Ramsden PG. Doses to patients arising from dental X-ray examinations in the UK, 2002-2004: a review of dental X-ray protection service data. London: Public health England; 2007. (HPA-RPD report series; 022).
- 10) Goaz PW, White SC. Chapter 11 Intraoral Radiographic Examinations. In *Oral Radiology*. 2nd ed. St. Louis: Mosby; 1987. pp200-267.
- 11) International Commission on Radiation Units and Measurements. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of x or gamma rays in radiotherapy procedures. ICRU Report 24. Oxford: Oxford University Press; 1976.
- 12) Harrison RM. Backscatter factors for diagnostic radiology (1-4 mm Al HVL). *Phys Med Biol*. 1982;27:1465-1474.
- 13) Lecombar AR, Faulkner K. Organ absorbed doses in intraoral dental radiography. *Br J Radiol*. 1993;66:1035-1041.
- 14) Abstracts of the 13th International Congress of DentoMaxilloFacial Radiology. Glasgow, United Kingdom, 5-8 August 2001. *Dentomaxillofac Radiol*. 2001;30 Suppl 1:S1-S58.

QUALITY CONTROL AND OPTIMIZATION OF INTRAORAL RADIOGRAPHIC EXAMINATIONS FOR RADIOLOGICAL PROTECTION

Rie SAKAINO

Division of Radiology, Department of Diagnostic Sciences, Showa University School of Dentistry

Abstract — The International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommended the use of diagnostic reference levels (DRLs) for optimization of radiation protection of patients, and proposed choosing a percentile point as the initial value of the DRLs in the observed distribution of patient doses. This study was undertaken to survey the distribution of patient doses in our facility and to determine the local DRLs in intraoral radiography for optimization and quality control of dental X-ray examinations.

To obtain the patient entrance doses, background optical densities were measured on the periapical radiograph of adult patient incisors. The total 5,045 radiographs were extracted from the films (Carestream/Kodak UltraSpeed) for diagnostic X-ray examinations performed in the period May/1999–April/2000 using four intraoral X-ray units with half value layers from 1.5 to 2.0 mm aluminum and three automatic processors under sensitometric control. The measured optical densities were converted into the patient entrance doses using the film characteristic curve.

The patient entrance doses were observed as a Gaussian distribution for the X-ray examinations of maxillary and mandibular incisors. The average patient entrance doses (\pm standard deviations) for maxillary and mandibular incisors were respectively 1.27 ± 0.25 mGy and 1.16 ± 0.24 mGy corresponding to the optical densities of 2.59 ± 0.43 and 2.39 ± 0.42 .

The average patient entrance doses for maxillary and mandibular incisors were nearly equal to the values (1.3 mGy and 1.1 mGy) of Japan DRLs 2015. The local DRLs, remedial levels, and suspension levels useful for quality control of X-ray examinations were derived from the averages and standard deviations. However, to adequately optimize intraoral radiography, the newer higher sensitivity image receptors should be used for patient doses to achieve the lowest reasonable dose.

Key words: radiological protection, intraoral radiography, quality control, optimization, diagnostic reference level

〔受付：10月15日，2015，受理：1月14日，2016〕